

# РАСЧЕТ ПОДЪЕМНЫХ КАНАТОВ ПО НАГРУЗОЧНЫМ КОЭФ- ФИЦИЕНТАМ И КОНЦЕВОЙ НАГРУЗКЕ

И. А. БАЛАШЕВ

В настоящее время расчет канатов для подъемных установок производится по статической нагрузке. „Расчетная статическая нагрузка подъемного каната складывается из веса клетки или скипа с прицепными устройствами, плюс вес максимального рабочего груза, плюс вес каната длиной от точки схода его со шкива до точки прикрепления к клетке или скипу, находящегося на нижней приемной (погрузочной) площадке нижнего горизонта“ [7].

В основу расчета положено уравнение прочности

$$Q_0 + pH_0 = \frac{\sigma_{\text{пр}}}{m} S. \quad (1)$$

В левой части имеем внешние силы, в правой—силы упругости каната.

Отсюда путем преобразований получается расчетная формула веса погонного метра каната

$$p = \frac{Q_0}{L_0 - H_0} (k_2 - m), \quad (2)$$

где  $Q_0$ —концевая нагрузка,  $L_0$ —прочная длина каната и  $H_0$ —длина свисающей со шкива части каната.

После выбора каната по ОСТ проверка запаса прочности выбранного каната, а также находящегося в эксплуатации производится по формуле

$$m = \frac{Q_{\text{усл}}}{Q_0 + pH_0}. \quad (3)$$

Формула (2) известна в литературе под названием расчетной формулы акад. М. М. Федорова [5].

Действие на канат других усилий, кроме статических, в расчет не вводится и таковые учитываются предельными запасами прочности. Изгибающие силы ограничиваются предельным отношением диаметра шкива и барабана к диаметру каната, а износ каната—предельным углом девиации каната. Расчетные и браковочные величины запасов прочности приводятся в табл. 1.

Таблица 1. Запасы прочности

Тип установки	Запас прочн. при расчете не меньше	Браковочный запас прочн. не меньше	ПРИМЕЧАНИЕ
Исключительно людской . .	9	7	Запас прочности определяется по формуле (3), как отношение суммарного разрывного усилия всех проволок каната к расчетной статической нагрузке.
Грузо-людской . . . . .	7.5	6	
Грузовой . . . . .	6.5	5	



Для всех типов установок на поверхности а) отношение диаметра барабана и шкива к диаметру каната должно быть не меньше 80; б) отношение диаметра шкивов и барабанов к диаметру проволок каната должно быть не меньше 1200; в) угол девиации (отклонения) струны каната не должен превышать  $1^{\circ}30'$ .

Указанные в пунктах а, б, в ограничения гарантируют фактический запас прочности каната в допустимых пределах и оправданы многолетним опытом эксплуатации.

Но в то же время приведенная методика расчета содержит в себе ряд недостатков. Укажем основные из них:

1. Запас прочности остается постоянным, независимо от высоты подъема, что находится в противоречии с обоснованными теоретическими и экспериментальными исследованиями последних лет.

2. В нормативах запасов прочности (табл. 1) не учитывается тип сосуда и способ управления приводом машины, вследствие чего получаются запасы прочности излишними в одних случаях и недостаточными в других (при контакторном управлении асинхронным приводом), что приводит к аварийному состоянию нагруженные элементы машины и к быстрому износу канатов, а в некоторых случаях и к их обрыву.

3. При расчете остается неизвестным фактический запас прочности, причем этот запас по пределу усталости предполагается одинаковым для всех типов установок, независимо от способа управления (от характера ускоряющего момента).

Указанные недостатки настолько существенны, что вызывают необходимость искания новых способов расчета каната, которые в возможно полной мере отражали бы основные факторы, определяющие нагрузку на канат.

Одним из возможных методов расчета каната, в котором более полно учитываются фактические нагрузки, предлагается метод расчета по нагрузочным коэффициентам и концевой нагрузке.

Сущность предлагаемого метода состоит в следующем:

а) выбор каната по каталогу производится по разрывному усилию каната —  $Q_{\text{разр}}$ , которое определяется по коэффициенту общего запаса прочности —  $m_{\text{общ}}$ , и концевой нагрузке —  $Q_0$  по формуле

$$Q_{\text{разр}} = m_{\text{общ}} Q_0, \quad (4)$$

б) проверка коэффициента запаса прочности нового каната или находящегося в эксплуатации определяется по формуле

$$m'_{\text{общ}} = \frac{Q'_{\text{разр}}}{Q_0}, \quad (5)$$

где  $Q'_{\text{разр}}$  — условное разрывное усилие каната,  $m_{\text{общ}}$  — общий коэффициент запаса прочности.

Коэффициент общего запаса прочности при расчете определяется, как

$$m_{\text{общ}} = K_{\text{нагр}} K_{\text{изн}} K_{\text{зан}}. \quad (6)$$

Здесь  $K_{\text{изн}}$  — коэффициент износа каната,

$K_{\text{зан}}$  — запас прочности проволок каната, определяемый как

$$K_{\text{зан}} = \frac{\sigma_{\text{вр}}}{\sigma_{\text{дон}}}, \quad (7)$$

$K_{\text{нагр}}$  — нагрузочный коэффициент.

Нагрузочный коэффициент в свою очередь состоит из суммы пяти частных коэффициентов:

$$K_{\text{нагр}} = K_{\text{конц}} + K_{\text{кан}} + K_{\text{изг}} + K_{\text{кол}} + K_{\text{упр}}. \quad (8)$$



В правой части частные нагрузочные коэффициенты выражают в частях от концевой нагрузки эквивалентные силы от концевой нагрузки, от веса каната, от изгиба на шкиве и барабане, от колебаний каната во время пуска и от способа управления двигателем.

В развернутом виде расчетная формула (4) имеет вид:

$$Q_{\text{разр}} = K_{\text{зап}} K_{\text{изв}} (K_{\text{конц}} + K_{\text{кан}} + K_{\text{изг}} + K_{\text{кол}} + K_{\text{упр}}) Q_0. \quad (9)$$

## Частные нагрузочные коэффициенты

### Коэффициент концевой нагрузки

Концевая нагрузка  $Q_0$  состоит из номинального полезного груза —  $Q_n$  и мертвого веса  $Q_m$  — сосуда и вагонеток. Вес полезного груза не является строго постоянной величиной как для угольных, так и рудных месторождений. Влияние влаги, величины кусков, засоренность включающими породами вызывают изменение удельного веса ископаемого, а, следовательно, веса груза в вагонетках и скипах.

Частные случаи перевесок полезного груза в вагонетках и скипах указывают, что колебания от номинального веса в скипах в сторону увеличения доходят до 110%.

Можно принять при расчете каната:

- а) для скиповых подъемов  $K_{\text{нагр}} = 1.1$   
 б) „ клетевых „ „ 1.05.

### Коэффициент от веса каната

Собственный вес каната зависит от высоты подъема и бывает довольно значителен. Введение его в расчетную формулу в виде постоянного коэффициента —  $K_{\text{кан}}$  обосновывается следующими соображениями.

По определению нагрузочный коэффициент от веса каната равен

$$K_{\text{кан}} = \frac{pH_0}{Q_0} = \frac{\gamma_0 H_0}{\frac{Q_0}{S}}. \quad (10)$$

Можно показать, что отношение  $\frac{Q_0}{S}$  изменяется в узких пределах 1500—1600, если  $Q_0$  выражено в кг, а сечение каната  $S$  — в  $\text{см}^2$ .

Условный удельный вес  $\gamma_0$  также изменяется незначительно для разных конструкций канатов и колеблется в пределах около 9500  $\text{кг/м}^3$ .

Приняв средние значения этих величин, получим

$$K_{\text{кан}} = \frac{9500 H_0}{1600 \cdot 10^4} = 6 \cdot 10^{-4} \cdot H_0 \quad (11)$$

На основании этой формулы составим табл. 2.

Таблица 2

$H_0(\text{м})$	100	200	300	500	700	1000
$K_{\text{кан}}$	0.06	0.12	0.18	0.3	0.42	0.6



Из таблицы видно, что нагрузка от веса каната возрастает и при глубине шахты 1000 м достигает 60% от веса концевой нагрузки.

Пользуясь табл. 2, можно при расчете вводить нагрузочный коэффициент от веса каната в зависимости от высоты подъема. Теоретическими и экспериментальными работами Вогана, Некоза, А. С. Ильичева и др. [8] доказано, что величина волны напряжения, вызываемая динамической силой при резких изменениях скорости, возрастает до определенной „критической“ длины каната, составляющей по весу  $0.35 Q_0$ , а при дальнейшем увеличении длины каната это напряжение остается или постоянным или даже уменьшается.

Это обстоятельство в практике учитывается тем, что шкала запасов прочности дифференцирована в зависимости от высоты подъема, как показано в табл. 3.

Таблица 3. Нормы запасов прочности канатов в зависимости от высоты подъема (по статической нагрузке) Р. Пиль—Справочник по горному делу

Высота	$H(м)$	До 150	150—300	300—600	600—900	900 и больше
Запас прочности	При наведении	8	7	6	5	4
	При снятии	6.4	5.8	5.0	4.3	3.6

Из этой таблицы видно, что расчетный запас для больших высот подъема в два раза меньше, чем для малых высот. Аналогичная, но более обоснованная шкала запасов прочности предложена членом-корресп. АН СССР А. С. Ильичевым [6]

В связи с этим представляется возможным принять нагрузочный коэффициент от веса каната постоянным и равным

$$K_{\text{кан}} = 0.3. \quad (12)$$

При этом в коротких канатах будем иметь повышенный запас, а в длинных—пониженный, что будет компенсироваться увеличением сил от свободных колебаний в первом случае и уменьшением их—во втором.

### Коэффициент от изгиба каната

При проходе каната через направляющий шкив и навивке его на барабан возникают напряжения от изгиба. Величина изгибающей силы определяется по формуле

$$Q_{\text{изг}} = \frac{E_k \cdot \delta \cdot S}{D}. \quad (13)$$

Нагрузочный коэффициент от изгибающих сил будет

$$K_{\text{изг}} = \frac{Q_{\text{изг}}}{Q_0} = \frac{E_k}{\frac{D}{\delta} \cdot \frac{Q_0}{S}} = \frac{0.8 \cdot 10^6}{1000 \cdot 1600} = 0.5. \quad (14)$$

Модуль Юнга для канатов принятых конструкций взят по опытным данным МакНИИ [8], отношение  $\frac{D}{\delta}$  принято минимально допустимое и

$\frac{Q_0}{S}$  согласно установленному постоянству этого отношения.







## Коэффициент от пусковых колебаний

В силу упругих свойств, в канате под действием движущих сил возникают вынужденные колебания. Характер колебательного процесса описывается волновым уравнением. Эти колебания вызывают дополнительные напряжения в канате, перемещающиеся по его длине. Особенно большие напряжения возникают в начале подъемной операции в тех случаях, когда канат имел слабины или напуск. Волновое уравнение, уподобляя канат упругой нити, хорошо описывает само явление колебательного процесса, но не дает достаточного материала для расчета каната. Экспериментальные данные Комитета по вопросам безопасности в горной промышленности в Англии, полученные на 100 шахтах, показывают, что максимальное натяжение каната от колебаний при пуске в большинстве случаев составляет  $(1.4-1.8) Q_{ст}$  [8].

В неблагоприятных случаях натяжение каната во время пуска может достигать до  $2.5 Q_{ст}$ . В это натяжение входят силы инерции, возникающие при ускоренном движении. Как правило, максимальное натяжение имеет место при трогании с места концевой нагрузки, затем, по мере увеличения скорости, они спадают до величины около  $1.6 Q_{ст}$ .

Совершенно очевидно, что, если имеется напуск или слабина каната, а это будет всегда в клетевых подъемах с кулаками, усилие будет значительным, а в скиповых подъемах, где канат всегда натянут, эти усилия будут меньшими.

Эксперименты, произведенные автором на скиповых и клетевых установках Кузбасса, показывают, что колебания сосуда имеют место не только в период пуска, но и во всех положениях движущегося сосуда. Методика эксперимента состояла в постановке в сосуд вибрографа, причем производился нормальный цикл подъемной операции.

Обработка опытных виброграмм приводит к следующим выводам:

1. Наибольшие амплитуды колебаний имеют место в скиповых установках, управляемых контакторами.
2. В скиповых установках с жидкостным реостатом и управляемых по системе Леонарда амплитуды колебаний значительно меньше.
3. В клетевых установках, управляемых жидкостным реостатом, амплитуды колебаний при пуске незначительны, так как они погашаются действием парашютной пружины.
4. Колебания имеют место в течение всего цикла подъема, увеличиваясь по частоте и амплитуде в период пуска и остановки.

В качестве иллюстрации на рис. 1 приведены виброграммы типичных установок. Величина напряжений, вызываемых колебаниями, для данного конкретного случая для грузовой ветви, идущей вверх, как правило, возрастает по мере приближения к разгрузочному бункеру. Численное значение напряжений и дополнительных сил, вызываемых колебаниями, определяется так.

Напряжение в канате

$$\sigma = i E_k, \quad (15')$$

где  $i$  — относительное удлинение и  $E_k$  — модуль упругости каната; причем

$$i = \frac{\lambda}{H_0}, \quad (16)$$

где  $H_0$  — длина свеса каната.  
Имеем

$$\sigma = - \frac{\lambda}{H_0} \cdot E_k \quad (15'')$$



или

$$\sigma H_0 = \lambda \cdot E_k. \quad (15)$$

В одной из снятых опытно виброграмм имеем при трехкратном увеличении амплитуду колебаний 21 мм. Следовательно, абсолютное удлинение, вызванное колебаниями, будет

$$\lambda = 21 : 3 = 7 \text{ мм.}$$

Принимая для каната  $E_k = 0.85 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ , получим уравнение гиперболы, имеющей своими асимптотами оси координат

$$\sigma H_0 = 7 \cdot 0.85 \cdot 10^6.$$

Если выразить  $H_0$  в метрах, то  $\sigma H_0 \cong 600$ .

При изменении  $H_0$  будем иметь величину напряжения, приведенную в табл. 4.

Таблица 4

Длина каната— $H_{(м)}$	1000	700	500	300	100	10	5	3	1
Напряже- ние $\sigma \text{ (кг/см}^2\text{)}$	6	10	12.5	20	60	600	1000	2000	6000

Напряжения в канате возрастают по мере приближения скипа к разгрузочному бункеру.

При данной высоте переподъема 5 м, сечении каната  $7 \text{ см}^2$  и концевой нагрузке 12000 кг будем иметь наибольшее значение коэффициента нагрузки каната от колебаний

$$K_{\text{коп}} = \frac{7 \cdot 1000}{12000} = 0.59. \quad (17)$$

Сопоставляя полученные опытные данные с указанными выше результатами экспериментов и теоретических изысканий, можно предложить для расчетов следующие величины для коэффициента, характеризующего дополнительные напряжения в канате от колебаний:

а) для клетевых подъемов при наличии кулаков на обеих площадках

$$K'_{\text{кол}} = 0.8 \div 1.1 \cong 0.9, \quad (18)$$

б) для скиповых подъемов и клетевых с качающимися площадками на одном из горизонтов

$$K''_{\text{кол}} = 0.4 \div 0.6 \cong 0.5. \quad (19)$$

Есть основания полагать, что этот вид дополнительной нагрузки специфичен и различен не только для разных установок, но и для данной установки в различные периоды эксплуатации и также зависит от состояния поверхности барабанов и шкивов.

#### Коэффициент, зависящий от способа управления

Дополнительные напряжения в канате возникают также от характера избыточного (ускоряющего) момента. По времени возникновения этот вид колебаний совпадает с предыдущим, т. е. имеет место во время ускоренного движения. Однако причины их возникновения совершенно различны: если пусковые колебания зависят от различной скорости на концах каната, т. е. натянут канат или имеет большую слабинку и верхний конец приобретает



некоторую скорость, а нижний имеет нулевую скорость, то колебания, возникающие от способа управления, имеют место независимо от состояния каната.

Если асинхронный электродвигатель управляется с помощью жидкостного реостата, то в этом случае избыточный (ускоряющий) момент имеет почти постоянную плавно возрастающую величину. В том же случае, когда имеем металлический реостат, избыточный момент будет иметь пилообразный характер при переходе с одной ступени реостата на другую. К верхнему концу каната сверх усилия, равного статическому, сообщается импульсами ускоряющее усилие, которое будет вызывать в канате колебания за весь период ускоренного движения. Очевидно, что в первом случае управления колебания будут незначительными, во втором же случае (при контакторном управлении) будем иметь благоприятные условия для создания значительных амплитуд колебаний.

Анализ виброграмм, наблюдения, непосредственное изучение и анализ имевших место аварий, а также статистические материалы о длительности и работоспособности канатов на подъемных установках с жидкостными реостатами и контакторным управлением приводят к таким выводам [1,2]:

а) средний срок службы канатов по времени при контакторном управлении, по данным о 60 канатах, ниже на 30%, чем в установках с жидкостным реостатом;

б) работоспособность каната в тех же случаях на 20% ниже;

в) число порванных проволок при контакторном управлении бывает больше, что и служит причиной замены каната;

г) проверочные расчеты аварийных случаев указывают, что при контакторном управлении дополнительные усилия, зависящие от фактора управления, составляют 40—50% от статической силы.

Влияние фактора управления на канат и элементы машины, насколько известно, не изучалось и ставится впервые.

В первом приближении на основании указанных данных предлагается принять:

1) для установок с асинхронным приводом и жидкостным реостатом, а также для системы Леонарда

$$K'_{\text{упр}} = 0.1, \quad (20)$$

2) для установок с металлическим реостатом контакторного управления или с барабанным контроллером

$$K''_{\text{упр}} = 0.5. \quad (21)$$

### Общий нагрузочный коэффициент

На основании изложенного, для различных способов управления, а также в зависимости от типа сосудов, можем составить таблицу предлагаемых значений нагрузочного коэффициента. Эти данные приводятся в табл. 5.

### Дополнительные динамические усилия

Кроме указанных основных усилий, действующих на канат во время нормального цикла подъемной операции, могут иметь место факторы, которые вызывают дополнительные напряжения в канате.

К ним относятся резонансные явления в канате, динамические нагрузки при рабочем и предохранительном торможении, колебания при загрузке скипа или висящей на канате клетки и удары при застревании в разгрузочных кривых или в стволе.



Таблица 5. Значения нагрузочного коэффициента

Тип электропривода	Тип сосуда	Частные нагрузочные коэффициенты					Общий $K_{нагр}$
		$K_{конц}$	$K_{кан}$	$K_{изг}$	$K_{кол}$	$K_{уп}$	
Асинхронный с металлическим реостатом (контакты или барабанный контроллер) или паровая машина . . . . .	а) клетки (с кудачами)	1.05	0.3	0.5	0.9	0.5	3.25
	б) скипы и клетки с качающимися площадками	1.1	0.3	0.5	0.5	0.5	2.9
Асинхронный с жидкостным реостатом или система Леонарда . .	в) клетки	1.05	0.3	0.5	0.9	0.1	2.85
	г) скипы	1.1	0.3	0.5	0.5	0.1	2.5

Резонансные явления в канате могут возникнуть при длительном совпадении периода собственных колебаний с периодом внешней по отношению к канату силы.

Можно показать, что период собственных колебаний каната за цикл подъемной операции, изменяясь по закону параболы, для обычных глубин находится в пределах от 3 сек. до 0.3 сек. В самом деле, период собственных колебаний каната

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{Q_0 H}{g E_k S}}, \quad (22)$$

или

$$T = 2\pi \sqrt{H_{(м)} \frac{Q_0}{S} \cdot \frac{1}{g E_k}}. \quad (22')$$

Если подставить значение  $\frac{Q_0}{S} = 1600$ ,  $g = 981$  и  $E_k = 0.8 \cdot 10^6$ , то получим уравнение параболы

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{H_{(м)} 1600 \cdot 100}{981 \cdot 0.8 \cdot 10^6}} = \frac{V H_{(м)}}{11}. \quad (22'')$$

Для  $H = 1000$  м и 10 м получим соответственно —  $T_{1000} = 2.88$  сек. и  $T_{10} = 0.288$  сек.

Отсюда видно, что для создания условий резонанса внешняя причина должна изменяться по такому же закону параболы хотя бы на части участка. Эксцентricности на шкивах и цилиндрических барабанах меняются по линейному закону и резонансных явлений вызвать не могут. Резонансные явления могут возникнуть только в частных случаях конических и билиндрических барабанов, на части участка органа навивки, когда линейная скорость каната может также изменяться по закону параболы [4].

Таким образом, резонансные колебания в канатах могут возникать лишь в частных случаях и не являются общим явлением, вследствие чего вводить их в общую расчетную формулу нет оснований.

Напряжения, возникающие в канате при рабочем и предохранительном торможении, подробно рассмотрены в докладе А. С. Ильичева [8].



На основании испытаний автором большого числа тормозов подъемных установок, результаты которых частично опубликованы [2], установлено, что тормозной момент предохранительных пневматических и масляных тормозов возрастает до номинального значения плавно в течение 0.6—0.8 сек. и лишь в простых грузовых тормозах это время наименьшее—около 0.3 сек., причем в последнем случае наблюдаются наибольшие колебания в характеристике тормозного момента.

Таким образом, верхняя часть каната при предохранительном торможении останавливается не мгновенно, а в течение довольно значительного времени.

Экспериментальные данные устанавливают величину напряжения при торможении до 2.28 раза большую, чем напряжение от статической силы [8].

Как видно, величина этих напряжений значительно меньше напряжений при пуске и поэтому в расчет вводиться не должна, так как одновременное их действие исключается. В таком же виде представляются напряжения при загрузке скипа падающим из дозатора полезным ископаемым в висящий на канате скип или при постановке вагонетки в клеть.

Что касается ударных приложений силы к канату при застревании сосуда в стволе или в разгрузочных кривых, то таковые, как имеющие аварийный характер, в расчет вводиться не могут.

### Коэффициент износа каната

Износ каната тесно связан со сроком его работы. Установлено [10], что агрегатная прочность каната пропорциональна износу. Износ поверхностных проволок свыше половины их диаметра ведет к быстрому их порыву, и эта степень износа должна считаться предельной. Число поверхностных проволок составляет для конструкции каната  $6 \times 19 + 1 = 63\%$ , а для конструкции  $6 \times 37 + 1 = 49\%$  от общего числа проволок. Таким образом по фактору износа от истирания проволок можно считать для первой конструкции

$$K_{\text{изн}} = 1.3, \text{ а для второй—} 1.25.$$

В действующих нормах расчетного и предельного запасов прочности коэффициенты общего износа приняты:

а) для клетевых установок—1.25;

б) „ для скиповых „ 1.30.

Эти значения необходимо принять для расчета.

Следует лишь отметить, что степень износа каната находится в тесной связи с оптимальным сроком службы каната и зависит от многих факторов условий эксплуатации.

### Коэффициент запаса прочности

По определению

$$K_{\text{зап}} = \frac{\sigma_{\text{вр}}}{\sigma_{\text{доп}}}, \quad (23)$$

где  $\sigma_{\text{вр}}$  —временное сопротивление материала каната, а  $\sigma_{\text{доп}}$  — допустимое напряжение.

Временное сопротивление проволок каната установлено нормами и для подъемных канатов наших заводов составляет 130—160 кг/мм<sup>2</sup> [9]. В ближайшие годы эта норма, очевидно, будет повышена до 180 кг/мм<sup>2</sup>. Если в отношении временного сопротивления разрыву проволок имеется достаточная определенность, то этого нельзя сказать в отношении допустимого напряжения.



Вследствие того, что канат подвергается действию сил, имеющих характер периодических повторно-кратковременных нагрузок, допустимое напряжение должно быть ограничено напряжением на усталость (выносливость) металла. Прямых опытов по выяснению усталостных характеристик проволок нет. Опыты Вернле [3] указывают, что канат имеет критическую нагрузку, превышение которой, хотя бы в пределах прочности каната, значительно сокращает срок его работы. Видимо, это надо понимать таким образом, что предел усталостных напряжений находится ниже предела упругих деформаций.

В свое время академик М. М. Федоров на основании литературных данных установил для коэффициента запаса по выносливости каната значение 2.12—1.26 [8].

Анализируя вышеприведенную табл. 5, можно заключить, что наибольшие колебания нагрузочной силы, зависящей от нагрузочных коэффициентов  $K_{\text{кол}}$  и  $K_{\text{упр}}$  имеют место в клетевых подъемах, управляемых металлическим реостатом при асинхронном приводе, и наименьшие—при жидкостном реостате и скиповом (грузовом) подъеме. В таком же соотношении, надо полагать, должны находиться допустимые напряжения на усталость.

В силу принятой методики расчета, представляется правильным считать коэффициент запаса одинаковым как для нового, так и для старого каната.

На основании весьма неполных данных по этому вопросу, можно говорить только об ориентировочных значениях этого коэффициента, классифицируя его в зависимости от величины динамической составляющей нагрузки на канат, а именно, принять согласно табл. 5:

1) для типа сосуда	а) табл. 5— $K_{\text{зап}} = 2.3$
2) " " "	б) " " " 2.1
3) " ж " "	в) " " " 2.2
4) " " "	г) " " " 2.0

### Общий коэффициент запаса

Расчетный общий коэффициент запаса для разных типов сосудов и способа их управления приводится в табл. 6.

Таблица 6. Общий коэффициент запаса

Тип сосуда и способ управления	Нагруз. коэф. $K_{\text{нагр}}$	Коэф. износа $K_{\text{изн}}$	Запас прочности $K_{\text{зап}}$	Общий $m_{\text{общ}}$	Расчетный $m_{\text{расч}}$	Браковочный $m_{\text{бр}}$
а) Клеть, контакторное управление . . . . .	3.25	1.25	2.3	9.35	9.5	7.6
б) Скипы, контакторное управление . . . . .	2.9	1.3	2.1	7.9	8.0	6.2
в) Клеть, жидк. реостат или система Леонарда	2.85	1.25	2.2	7.83	8.0	6.4
г) Скипы	2.5	1.3	2.0	6.5	6.5	5.0

Последние два столбца принимаются—первый как расчетные коэффициенты запаса каната, а второй—как предельные браковочные коэффициенты, по достижении коих канат должен быть заменен, как не имеющий запаса на износ.

Для оценки полученных коэффициентов запаса произведем сравнение их с принятыми запасами прочности по статической нагрузке.



## Сравнение коэффициентов запаса

Для того, чтобы сравнить коэффициенты запаса каната, необходимо исключить из нагрузки вес каната, который оценен постоянным нагрузочным коэффициентом  $K_{\text{кан}} = 0.3$ . Тогда получим табл. 7.

Таблица 7. Сравнение расчетных и браковочных условных запасов прочности каната по концевой нагрузке с принятыми по ПТЭ по статической силе

Тип установки	Реостат	Нагруз. коэф. (без веса каната)	Коэф. износа $K_{\text{и}}$	Коэф. запаса $K_{\text{зап}}$	Расч. запас. $m_{\text{расч}}$	Браковочный $m_{\text{бр}}$	По ПТЭ		Результат в $\frac{m_{\text{р}}}{m_{\text{р}}} \cdot 100$
							Расч. $m'_{\text{расч}}$	Брак $m'_{\text{бр}}$	
а) клетки	метал.	2.95	1.25	2.3	8.5	6.8	7.5	6.0	113
б) скипы	„	2.6	1.3	2.1	7.1	5.46	6.5	5.0	109
в) клетки	жидкостный	2.55	1.25	2.2	7.0	5.6	7.5	6.0	93
г) скипы		2.2	1.3	2.0	5.72	4.4	6.5	5.0	88

Из таблицы следует, что в установках с металлическими реостатами канат имеет недостаточный запас на 10—15%, а в случаях установок с жидкостными реостатами—излишний запас на 7—12%.

Объяснение результатов сравнения, приведенных в табл. 7, может быть двояким: а) принятые частные коэффициенты в первом случае велики, а во втором—малы, б) принимаемые по ПТЭ запасы для клетевых и скиповых установок с металлическими реостатами малы.

Что касается принятого значения частных коэффициентов, а в особенности характеризующих динамические силы в канатах—от колебаний при пуске, зависящих от управления, а также запаса прочности, обусловленного допустимыми напряжениями на усталость, то, несомненно, они требуют теоретического экспериментального и эксплуатационного уточнения. Мы склонны думать, что уточнение этих коэффициентов будет идти по пути снижения численного значения против принятых. Однако эти уточнения едва ли изменят место принятых четырех типов установок.

Второе объяснение, что принимаемые запасы для первых двух типов установок действительно недостаточны, убедительно подтверждается данными эксплуатации. В условиях эксплуатации недостаточный запас будет вызывать усиленный износ каната и уменьшение срока его службы.

Убедительным фактом в этом отношении являются две установки в Кузбассе с восьмитонными скипами, работающие в одном стволе, имеющие одинаковые диаметры барабанов 4 м и одинаковую конструкцию канатов— $6 \times 37 + 1$  и диаметры 47 мм, но управляемые—южный жидкостным реостатом, а северный—имеющий контакторное управление. Эксплуатационные результаты работы этих установок за последние пять лет приведены в табл. 8.

Рассмотрение приведенных в табл. 8 данных говорит о том, что значительное увеличение всех эксплуатационных показателей для подъемной установки с жидкостным реостатом (южный подъем) обязано меньшим результирующим напряжением в канате.

Для южной подъемной установки достаточен канат, имеющий диаметр не 47 мм, а 43 мм, в то время как для северной (с контакторным управлением) к уменьшению диаметра каната оснований нет.



Таблица 8

Показатель	Южный подъем	Северный подъем	В %
Средний срок службы канатов (в месяцах)	22.5	14.5	155
Средняя работа каната в т-км (по полезному грузу)	104500	85000	123
Работоспособность каната в т-км на 1 кг веса каната по полезному грузу	180	150	120
Расчетный запас прочности канатов по статической нагрузке	7.0	7.0	—
Тоже по концевой нагрузке	7.85	7.85	—
Углы девиации канатов	$\alpha_1 = 0^\circ 27'$ $\alpha_2 = 0^\circ 40'$	$\alpha'_1 = 0^\circ 25'$ $\alpha'_2 = 0^\circ 19'$	—

### Пример сравнительного расчета предлагаемым методом и существующим

Для скиповой установки, имеющей  $Q_n = 6 \text{ т}$  и  $H_o = 600 \text{ м}$  необходимо рассчитать канат для двух случаев: вариант а) при асинхронном электроприводе с жидкостным реостатом и б) с контакторным управлением. Мертвый вес скипов  $6 \text{ т}$ ,  $D_6 = D_{шк} = 4 \text{ м}$ .

Вариант а).  $Q_{\text{разр}} = 6.5 \cdot 12000 = 78000 \text{ кг}$ .

Подходящий канат конструкции  $6 \times 19 + 1$ , диаметром  $37 \text{ мм}$ , имеющий  $Q_{\text{разр}} = 82500 \text{ кг}$  (при  $\sigma_{\text{вр}} = 160 \text{ кг/мм}^2$ ) и  $p = 4.6 \text{ кг/м}$ .

Расчетный коэффициент запаса будет

$$m_{\text{расч}} = \frac{82500}{12000} = 6.88.$$

Вариант б).  $Q_{\text{разр}} = 8 \cdot 12000 = 96000 \text{ кг}$ .

Подходящий канат конструкции  $6 \times 19 + 1$ , диаметром  $40 \text{ мм}$ ,  $p = 5.4 \text{ кг/м}$  и  $Q_{\text{разр}} = 96800$  (при  $\sigma_{\text{вр}} = 160 \text{ кг/мм}^2$ ).

Расчетный коэффициент запаса

$$m_{\text{расч}} = \frac{96800}{12000} = 8.06.$$

При расчете по концевой нагрузке необходим канат конструкции  $6 \times 37 + 1$ , с диаметром  $43 \text{ мм}$ ,  $p = 6.2 \text{ кг/м}$ , имеющий  $Q_{\text{разр}} = 112000 \text{ кг}$ .

При этом

$$m_{\text{расч}} = \frac{112000}{12000 + 3720} = 7.13.$$

Веса канатов при конструктивной длине в  $700 \text{ м}$  будут такими:

Варианты: а)— $3220 \text{ кг}$ , б)— $3780 \text{ кг}$  и в последнем случае  $4340 \text{ кг}$ . Отношение их весов  $100:117:135$ .

Результаты расчета для других высот подъема и типов сосудов приводятся в табл. 9 для скиповой и в табл. 10 для клетевой установок.

### Обзор результатов расчета

Для каждого типа установки и способа управления приведены расчетные запасы прочности как по статической силе, так и по концевой нагрузке. Полученные запасы прочности показывают, что при расчете каната по



Таблица 9. Результаты расчета  
А. Скиповая установка:  $Q_H=6000$ ,  $Q_M=6000$ ,  $Q_0=12000$  кг

Способ управления	Название расчетного элемента	Единица измерения	Высота подъема м		
			300	600	1000
Жидкостный реостат	1. Расчет по концевой нагрузке				
	Конструкция . . . . .		$6 \times 19 + 1$		
	Диаметр . . . . .	мм	37	37	37
	Вес . . . . .	кг/м	4.6	4.6	4.6
	Разрывное усилие . . . . .	т	82.5	82.5	82.5
	Расчетный запас по концев. нагрузке . . . . .		6.88	6.88	6.88
	Тоже по статич. силе . . . . .		6.16	5.6	4.97
Металлический реостат	Конструкция . . . . .		$6 \times 19 + 1$		
	Диаметр . . . . .	мм	40	40	40
	Вес . . . . .	кг/м	5.4	5.4	5.4
	Разрывн. усилие . . . . .	т	96.8	96.8	96.8
	Расчетн. запас по концевой нагрузке . . . . .		8.06	8.06	8.06
	Тоже по статич. силе . . . . .		7.1	6.35	5.55
От способа управления не зависит	2. Расчет по статической силе				
	Конструкция . . . . .		$6 \times 19 + 1$	$6 \times 37 + 1$	$6 \times 37 + 1$
	Диаметр . . . . .	мм	40	43	47
	Вес . . . . .	кг/м	5.4	6.2	7.2
	Разрывн. усилие . . . . .	т	96.8	112.0	135
	Расчетн. запас по концевой нагр. нагрузке . . . . .		8.06	9.35	11.25
	Тоже по статич. силе . . . . .		7.1	7.13	7.04
Отношение расчетных весов канатов . . . . .			100:117:117	100:117:135	100:117:156

Таблица 10. Б. Клетевая установка:  $Q_H=2000$ ,  $Q_M=5000$ ,  $Q_0=7000$  кг

Способ управления	Название расчетного элемента	Единица измерения	Высота подъема м		
			300	600	1000
Жидкостный реостат	1. Расчет по концевой нагрузке				
	Конструкция . . . . .		$6 \times 19 + 1$		
	Диаметр . . . . .	мм	31	31	31
	Вес . . . . .	кг/м	3.2	3.2	3.2
	Разрывное усилие . . . . .	т	57.2	57.2	57.2
	Расчетный запас по концев. нагрузке . . . . .		8.18	8.18	8.18
	Тоже по статической силе . . . . .		7.19	6.4	5.6
Металлический реостат	Конструкция . . . . .		$6 \times 19 + 1$		
	Диаметр . . . . .	мм	34	34	34
	Вес . . . . .	кг/м	3.9	3.9	3.9
	Разрывн. усилие . . . . .	т	69.3	69.3	69.3
	Расчетн. запас по концев. нагрузке . . . . .		9.9	9.9	9.9
	Тоже по статической силе . . . . .		8.5	7.45	6.36



Способ управления	Название расчетного элемента	Единица измерения	Высота подъема м		
			300	600	1000
От способа управления не зависит	2. Расчет по статической силе				
	Конструкция . . . . .		6×19+1	6×19+1	6×37+1
	Диаметр . . . . .	мм	34	37	39
	Вес . . . . .	кг/м	3.9	4.6	5.0
	Разрывн. усилие . . . . .	т	69.3	82.5	90.4
	Расчетн. запас по концев. нагрузке . . . . .		9.9	11.8	12.9
	То же по статической силе . .		8.45	8.5	7.52
	Отношение расчетных весов канатов . . . . .		100:122:122	100:122:143	100:122:156

Примечание: За 100% принят вес каната при управлении жидкостным реостатом.

концевой нагрузке запас прочности с увеличением высоты подъема уменьшается. Аналогичный метод расчета был предложен Воганом [8], который назвал запас прочности по концевой нагрузке коэффициентом использования каната. Однако, в предложенном нами методе общий коэффициент запаса не остается одинаковым для данного типа подъемной установки, а зависит еще от способа управления машиной, что значительно отличается данный метод от ранее предложенных.

Отношение весов канатов, приведенное в конце каждой таблицы, показывает, что при расчете канатов по предлагаемому методу получается значительная экономия металла не только для больших высот подъема (глубоких шахт), но и для наиболее распространенных шахт мелких и средних.

### Выводы и предложения

1. Предложенный метод расчета канатов по нагрузочным коэффициентам и концевой нагрузке обладает следующими преимуществами:

- а) в расчет вводятся основные факторы, создающие усилия в канате;
- б) введен новый расчетный фактор, зависящий от способа управления двигателем, названный нагрузочным коэффициентом управления;
- в) с расчетной стороны метод прост.

2. Применение нагрузочных коэффициентов дает возможность более правильной оценки работы каната в данных конкретных условиях, так как удельный вес каждого из нагрузочных коэффициентов в значительной мере зависит от местных условий эксплуатации.

3. Расчет по нагрузочным коэффициентам и концевой нагрузке дает значительную экономию ценного металла. Значимость данного метода будет особенно важной при дальнейшем повышении качества металла и улучшении технологии изготовления канатов.

4. Численное значение введенных коэффициентов подлежит дальнейшему уточнению. Принятые величины, как предварительные, брались наибольшими из полученных экспериментально или теоретически, а это дает основание считать, что дальнейшее уточнение должно дать их снижение.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Балашев И. А.—О реостатах для рудничных подъемных установок, ТПИ, Томск, 1948.
2. Балашев И. А.—Экспериментальное исследование тормозов подъемных машин, журн. „Уголь“ № 11, 1940.



3. Вапна М. Л.—Испытание проволочных канатов, ОНТИ, М.—Л., 1932.
  4. Динник А. М.—Резонанс в канате при бигилиндрических барабанах, Горный журнал № 12, 1932.
  5. Ильичев А. С.—Рудничные подъемные установки, 1933.
  6. Ильичев А. С.—Реконструкция и дальнейшее развитие шахтного подъема, журн „Уголь“ № 11, 1945.
  7. Правила технической эксплуатации угольных шахт, НКУП, Гостоптехиздат, М.—Л., 1941.
  8. Труды совещания по шахтным подъемным канатам, доклад Ильичева А. С. ИГД АН СССР, М.—Л., 1944.
  9. Труды совещания по реконструкции производства шахтных канатов в СССР, доклад Нестерова П. П. ИГД АН СССР, 1944.
  10. Цветков В. А.—Проволочные канаты и их работа на шахтном подъеме, Труды МакНИИ, том II—ОНТИ, 1935.
-